

## REMOÇÃO DO ÍON CÁDMIO POR PROCESSO DE BIOSORÇÃO EM COLUNA DE LEITO FIXO USANDO LEVEDURA IMOBILIZADA EM QUITOSANA

M. F. C. S. Canuto<sup>1</sup>, S. W. C. Araújo<sup>2</sup>, R. C. O. Duarte<sup>3</sup>, O. L. S. Alsina<sup>4</sup>, L. S. O. Conrado<sup>5</sup>

1-Docente da Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal de Campina Grande – Rua Jairo Vieira Feitosa, CEP: 58840-000 – Pombal – PB – Brasil

Email: [morganafabiola@hotmail.com](mailto:morganafabiola@hotmail.com)<sup>1</sup>

2- Doutora do Programa em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, CEP: 58429-900 – Campina Grande – PB – Brasil

Email: [s\\_waleska@yahoo.com.br](mailto:s_waleska@yahoo.com.br)<sup>2</sup>

3- Graduando da Unidade Acadêmica de Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, CEP: 58429-900 – Campina Grande – PB – Brasil

Email: [renan.cesar17@gmail.com](mailto:renan.cesar17@gmail.com)<sup>3</sup>

4- Docente – Universidade Tiradentes – Av. Murilo Dantas, CEP: 49032-490 – Aracaju – SE – Brasil

Email: [odelsia@uol.com.br](mailto:odelsia@uol.com.br)<sup>4</sup>

5- Docente da Unidade Acadêmica de Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande – Rua Aprígio Veloso, CEP: 58429-900 – Campina Grande – PB – Brasil

Email: [libiaconrado@yahoo.com.br](mailto:libiaconrado@yahoo.com.br)<sup>5</sup>

**RESUMO:** Direta ou indiretamente, a indústria é particularmente responsável por problemas ambientais do planeta. A biossorção é um processo eficiente e de baixo custo para o tratamento dos efluentes contaminados por íons metálicos lançados no meio ambiente por parte das indústrias. Uma alternativa para a remoção destes íons presentes em efluentes líquidos é o processo de biossorção em colunas de leito fixo. O objetivo deste trabalho foi estudar a biossorção do íon cádmio pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* immobilizada em quitosana em coluna de leito fixo, variando a vazão de operação e a concentração de entrada do íon  $Cd^{2+}$ . As concentrações de entrada da solução aquosa sintética do íon cádmio estudadas foram 40 e 90  $mg.L^{-1}$  e as vazões de operação 1,5 e 4,5  $cm^3.s^{-1}$ . As curvas de ruptura obtidas demonstraram que o leito não atingiu a saturação, porém foi verificado condições estáveis de concentração na saída.

**PALAVRAS-CHAVE:** cádmio; biossorção; leito fixo.

**ABSTRACT:** Directly or indirectly, Industries are particularly responsible for global environmental problems. The biosorption is an efficient and low cost process for the treatment of effluents contaminated by metal ions thrown into the environment by industries. An alternative to the removal of these ions present in liquid effluents is the biosorption process in fixed bed columns. The goal of this research was to study the biosorption of cadmium ion by the yeast *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on chitosan in fixed bed columns, varying the output of the operation and the concentration of  $Cd^{2+}$  ion entry. Concentrations of the entry of synthetic aqueous from the cadmium ion studied were 40 and 90  $mg.L^{-1}$  and the Outputs of operation 1,5 e 4,5  $cm^3.s^{-1}$ . The breakthrough curves obtained showed that the bed didn't reach saturation, but was verified stable conditions of concentration in the output.

**KEYWORDS:** cadmium; biosorption; fixed bed.



## 1. INTRODUÇÃO

Grandes concentrações de metais pesados têm sido liberadas no ambiente, juntamente com resíduos industriais e efluentes contaminados pelas atividades industriais causando sérios impactos ambientais. Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem não degradáveis, de maneira que podem se acumular nos componentes do ecossistema onde manifestam sua toxicidade.

Os metais pesados lançados no meio ambiente causam maiores impactos ambientais do que a poluição causada por pesticidas, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono, pelo fato de não serem degradados (BARROS JUNIOR, 2001). O cádmio juntamente com o chumbo são os elementos que têm concentrado maior atenção entre os pesquisadores devido à toxidez e a penetração nos ecossistemas, como resultado do desenvolvimento tecnológico.

De acordo com Liu et al. (2011) biossorção é um processo de purificação, através do qual metais pesados tóxicos são removidos de soluções aquosas por adsorção em biomassas de baixo custo, a exemplo de algas, fungos e turfa. Esse processo tem demonstrado ser um método eficiente e econômico na remoção de metais pesados presentes em águas residuais (BENGUELLA e BENAÏSSA, 2002).

Métodos alternativos de remoção de metal e recuperação têm sido desenvolvidos utilizando materiais biológicos. Certos tipos de biomassas microbianas podem reter quantidades relativamente altas de metais por meio da biossorção. As principais vantagens destes processos incluem baixos custos de operação, minimização do volume de químicos e/ou lamas a depositar e alta eficiência na desintoxicação de efluentes diluídos (TUNALI et al., 2005).

Chen e Wang (2007) destacaram que a *Saccharomyces cerevisiae*, tem sido utilizada como bioadsorvente devido a sua capacidade de acumular metais pesados, mantendo a sua

integridade e resistência em ambientes rigorosos, sendo considerado um bioadsorvente promissor.

Por ser uma fonte de matéria prima altamente renovável e economicamente viável, a quitosana atualmente está sendo utilizada em diversas áreas, como medicina, agricultura, biotecnologia, indústria de cosméticos, produtos alimentícios e, como adsorvente na remoção de corantes e espécies metálicas. A quitosana além de abundante e de baixo custo é um ótimo bioadsorvente de íons metálicos, possui capacidade para formar complexos com íons de metais de transição devido à presença de amino grupos presentes em sua estrutura.

Canuto et al. (2011) compararam a capacidade adsorvente dos bioadsorventes: esferas de quitosana, levedura *Saccharomyces cerevisiae* no estado inativo livre e imobilizado em quitosana, mediante acompanhamento cinético do processo de biossorção do íon metálico cádmio em tanque agitado. Verificaram que a capacidade adsorvente da levedura imobilizada em quitosana foi maior quando comparada ao seu estado livre e às esferas de quitosana.

De acordo com Cossich (2000) a utilização da biomassa imobilizada pode ser vantajosa em relação à biomassa livre, principalmente quando se trabalha com colunas, uma vez que a biomassa livre pode não ser rígida o suficiente ou apresentar características de queda de pressão inaceitáveis, portanto, a utilização de células de leveduras imobilizadas em suporte inerte e de baixo custo é hoje um dos enfoques para muitas aplicações como processos fermentativos, enzimáticos e de biossorção.

O processo de biossorção em coluna de leito fixo é amplamente usado e encontra aplicações em diversos campos, como por exemplo, na descoloração de óleo vegetal e mineral e purificação de proteínas e águas contaminadas por compostos derivados do petróleo e metais pesados (LIMA, 2010).



Na adsorção em colunas de leito fixo, as concentrações na fase fluida e sólida variam com o tempo e também com a posição no interior do leito. Inicialmente, a maior parte da transferência de massa ocorre próxima a entrada do leito, onde o fluido entra em contato com o adsorvente. Caso a fase sólida esteja livre do adsorbato no início da operação, a concentração do mesmo na fase fluida decai exponencialmente com a distância para um determinado instante de tempo. Depois de decorrido um intervalo de tempo, o adsorvente próximo à entrada torna-se saturado e a maior parte da transferência de massa ocorre dentro do leito (BORBA, 2006).

Em um leito fixo, utilizando fluxo ascendente, o fluido (adsorbato) geralmente entra pela parte inferior e flui pelo leito até a parte superior, por onde deixa o sistema. Em alguns sistemas, principalmente quando o adsorvente é mais frágil utiliza-se o fluxo descendente, pois o fluxo ascendente a altas velocidades poderá fluidizar as partículas, causar atrito destas com a parede do leito e arrastar o adsorvente.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar a bioadsorção do íon cádmio pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em quitosana em coluna de leito fixo, variando a vazão de operação e a concentração de entrada do íon  $Cd^{2+}$ .

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1. Bioadsorvente

O bioadsorvente utilizado para remoção do íon cádmio presente em soluções aquosas sintéticas foi a levedura *Saccharomyces cerevisiae* inativa imobilizada em quitosana, conforme mostra a Figura 1.

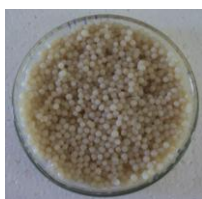


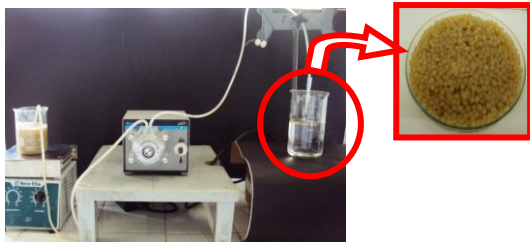
Figura 1. Levedura imobilizada.

O procedimento para inativação da levedura consistiu em colocar a mesma em estufa a uma temperatura de 70 °C por 24 horas.

### 2.2. Processo de Imobilização

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* foi imobilizada com quitosana em suspensão na solução de hidróxido de sódio 8 %. Em um Becker de 400 mL foram adicionados 10 g de levedura (inativa) dissolvida em 50 mL de água destilada, com agitação para homogeneização. Em outro Becker foram adicionados 10 g de quitosana, sendo realizada em seguida a dissolução da mesma em 200 mL de uma solução de ácido acético 1% até que se apresente com aspecto de um gel bem viscoso.

Após a dissolução das massas de quitosana e levedura as mesmas foram misturadas e mantidas sob agitação, por um agitador rotativo da marca Fisitom, modelo 713-D, que mantinha velocidade constante de 90 rpm por cerca de 30 minutos para que o sistema se mantivesse homogêneo. Esta massa viscosa formada foi pulsada por uma bomba peristáltica da marca Masterflex e gotejada à uma vazão de  $0,013 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , em solução de hidróxido de sódio 8% , obtendo-se esferas de células de *Saccharomyces cerevisiae* aprisionadas em quitosana. A vazão utilizada foi baixa para garantir uma boa formação das esferas, pois, caso o procedimento fosse realizado com uma maior vazão ocorreria formação de caudas nas esferas e para garantir uniformidade na formação destas foi colocada uma ponteira na extremidade da mangueira. Após o término da imobilização, as esferas permaneceram na solução coagulante (NaOH) por 24 h, em geladeira a temperatura de 4°C, em seguida lavadas em bandejas com água destilada até pH neutro. As esferas foram secas em temperatura ambiente por 1 h, antes de serem utilizadas nos ensaios de bioadsorção. A Figura 2 apresenta o esquema do sistema de imobilização da levedura.



**Figura 2.** Esquema do sistema de imobilização da levedura.

### 2.3. Soluções Aquosas Sintéticas

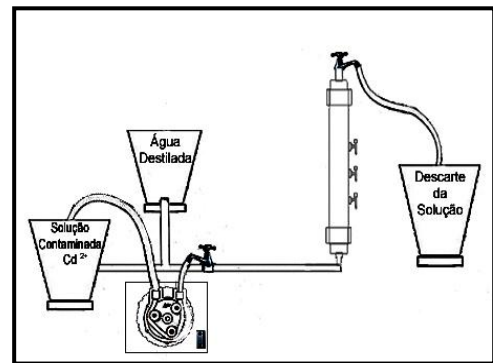
As soluções aquosas sintéticas foram preparadas com padrão de titrisol de cloreto de cádmio ( $\text{CdCl}_2$ ), adquiridos na forma de ampolas. Para cada ampola utilizada foi realizada a diluição em água deionizada, sendo preparada 1 L de solução padrão de  $\text{CdCl}_2$  com concentração de  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ . A partir da solução padrão foram feitas as diluições, para as faixas de concentrações estudadas.

### 2.4. Ensaios de Biossorção em Coluna de Leito Fixo

O sistema experimental utilizado para biossorção em leito fixo (Figura 3), com fluxo ascendente, é constituído por uma bomba peristáltica da marca Masterflex, dois reservatórios com capacidade de 15 litros, sendo um para armazenamento da solução aquosa sintética e outro para armazenamento de água destilada, os mesmos são conectados por tubos de PVC a uma coluna de vidro com 30 cm de altura e 3 cm de diâmetro interno, contendo três torneiras (alturas das torneiras de 6; 15 e 24 cm) para coletar as amostras durante os ensaios. A solução aquosa sintética é alimentada através de uma bomba peristáltica à coluna de leito fixo.

A coluna foi preenchida com o bioadsorvente formando o leito fixo, sendo utilizado 25 g do bioadsorvente, correspondendo a uma altura fixa de 6 cm. A solução aquosa sintética de íon  $\text{Cd}^{2+}$ , em diferentes concentrações, foi alimentada a partir do reservatório de armazenamento a uma vazão pré-estabelecida. Inicialmente o leito de bioadsorvente foi equilibrado utilizando água

destilada com pH ajustado para 5,5 e no momento em que o leito estava equilibrado, ou seja, com pH 5,5 dava-se início ao bombeamento da solução aquosa sintética de  $\text{Cd}^{2+}$ . O tempo inicial foi contado a partir do momento em que esta solução atingia a base do leito. As amostras para análise do desempenho do leito fixo na biossorção do íon  $\text{Cd}^{2+}$  foram tomadas durante 30 minutos, sendo as mesmas coletadas em recipientes plásticos e posteriormente quantificadas por um espectrofotômetro de absorção atômica de chama, modelo Aanalyst 200 da marca Perkin Elmer. As concentrações da solução aquosa sintética de  $\text{Cd}^{2+}$  na entrada do leito foram: 40 e  $90 \text{ mg.L}^{-1}$  e vazões de operação 1,5 e  $4,5 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$ , vazões estas que asseguravam manter o leito fixo.



**Figura 3.** Esquema do sistema experimental de leito fixo.

**2.4.1. Determinação da quantidade adsorvida e percentagem de remoção na coluna de leito fixo:** A quantidade de íon ( $\text{Cd}^{2+}$ ) retida pela *Saccharomyces cerevisiae* no estado inativo imobilizada em quitosana, foi determinada pela Equação 1:

$$q_0 = C_0 \left( \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right) \left( \frac{QA_{sc}}{ZA_{st}\varepsilon} - 1 \right) \quad (01)$$

Em que:

$q_0$  é a quantidade adsorvida de íon metálico ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  
 $C_0$  é a concentração x da solução aquosa sintética na entrada do leito ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  
 $Q$  é a vazão volumétrica ( $\text{cm}^3.\text{min}^{-1}$ );  
 $\varepsilon$  é a porosidade do leito;

$A_{sc}$  é a integral sobre a curva de ruptura (min);  
 $A_{st}$  é a área da seção transversal da coluna ( $cm^2$ );  
 $Z$  é a altura do leito (cm).

A quantidade adsorvida de íon  $Cd^{2+}$  pelo bioadsorvente foi obtida em  $mg.L^{-1}$ , sendo dessa forma necessário dividir o resultado obtido ( $q_0$ ), pela densidade deste bioadsorvente ( $g.L^{-1}$ ), para expressar esta quantidade adsorvida em  $mg.g^{-1}$ .

A percentagem de remoção de íon  $Cd^{2+}$  (% Rem) foi obtida pela Equação 2. Para este cálculo foi necessário converter a vazão volumétrica ( $Q$ ) expressa em  $cm^3.min^{-1}$  para  $L.min^{-1}$ .

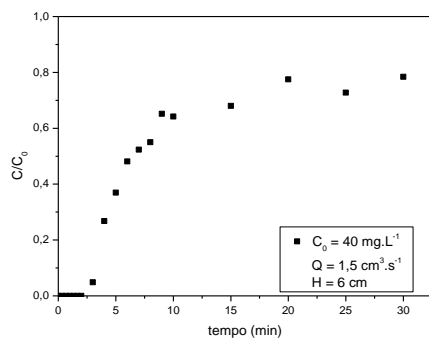
$$\% Rem = \frac{mq_o}{C_0Qt} \quad (02)$$

Em que:

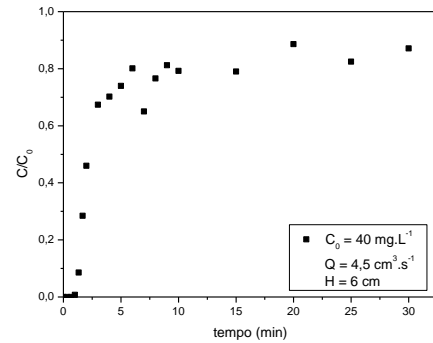
$m$  é a massa do bioadsorvente (g);  
 $t$  é o tempo de operação (30 min).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

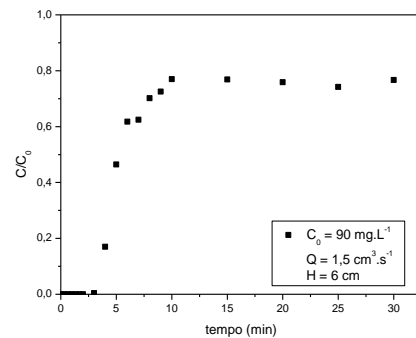
Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 estão apresentadas as curvas de ruptura, referentes aos ensaios de bioadsorção do íon cádmio em coluna de leito fixo utilizando levedura imobilizada em quitosana. As curvas foram obtidas variando-se os valores da concentração de entrada da solução sintética e vazão de operação, sendo a altura do leito fixo de biomassa (bioadsorvente), constante.



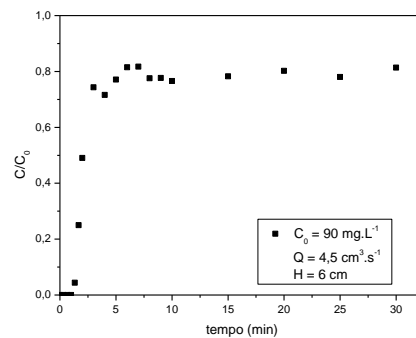
**Figura 4.** Curva de ruptura nas seguintes condições:  $C_0 = 40 mg.L^{-1}$ ; altura do leito 6 cm; pH 5,5 ; temperatura ambiente e  $Q = 1,5 cm^3.s^{-1}$ .



**Figura 5.** Curva de ruptura nas seguintes condições:  $C_0 = 40 mg.L^{-1}$ ; altura do leito 6 cm; pH = 5,5 ; temperatura ambiente e  $Q = 4,5 cm^3.s^{-1}$ .



**Figura 6.** Curva de ruptura nas seguintes condições:  $C_0 = 90 mg.L^{-1}$ ; altura do leito 6 cm; pH = 5,5 ; temperatura ambiente e  $Q = 1,5 cm^3.s^{-1}$ .



**Figura 7.** Curva de ruptura nas seguintes condições:  $C_0 = 90 mg.L^{-1}$ ; altura do leito 6 cm; pH 5,5 ; temperatura ambiente e  $Q = 4,5 cm^3.s^{-1}$ .

Ao comparar as curvas de ruptura das Figuras 4 e 5, que foram obtidas para uma concentração de entrada de  $40 mg.L^{-1}$  e vazões de operação 1,5 e 4,5  $cm^3.s^{-1}$ , respectivamente, e as curvas de ruptura das Figuras 6 e 7, obtidas para uma concentração de



entrada de  $90 \text{ mg.L}^{-1}$ , com as mesmas vazões de operação, é possível verificar que os maiores valores dos tempos de quebra (ruptura) das curvas foram encontrados para as menores vazões. Sendo os tempos de quebra, para a concentração de entrada de  $40 \text{ mg.L}^{-1}$ , 4 e 1 min com as vazões de  $1,5$  e  $4,5 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$ , respectivamente, e para a concentração de entrada de  $90 \text{ mg.L}^{-1}$ , esses tempos foram 3 e 1,33 minutos, comportamento este verificado por Veit et al. (2009a) que estudaram o efeito da vazão volumétrica nas curvas de ruptura para o sistema de biossorção de Cr(III) e Ni(II) utilizando a alga marinha marrom *Sargassum filipendula*.

Conforme verificado nestas Figuras, é possível observar que para todas as condições estudadas, não houve a saturação do leito em 30 minutos, tempo esse que foram realizadas as coletas da solução aquosa sintética contendo o íon  $\text{Cd}^{2+}$ . Fica evidente que independente da concentração de entrada utilizada, a razão  $C/C_0$  foi em torno de 0,8. Segundo Canuto et al. (2012), as curvas de ruptura, apresentaram um comportamento diferente das que foram apresentadas para os ensaios realizados com baixas concentrações, fato este que está associado ao aumento da concentração de entrada da solução aquosa sintética, e que conforme já descrito há uma tendência do aumento da razão  $C/C_0$  com o aumento da concentração de entrada.

Canuto et al. (2012) realizaram um experimento de biossorção do íon  $\text{Cd}^{2+}$  em coluna de leito fixo durante 8 horas utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em quitosana, nas seguintes condições: concentração de entrada da solução do íon  $\text{Cd}^{2+}$  de  $4 \text{ mg.L}^{-1}$ , vazão  $1,5 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$  e altura do leito 24 cm. Verificaram que este tempo não foi suficiente para saturar o leito. Na literatura, encontramos bioadsorventes que necessitam de um longo tempo para saturar, a exemplo de Osifo et al. (2009) que estudaram a utilização de esferas de quitosana de 0,9 mm reticuladas com glutaraldeído para remoção de cobre em colunas de adsorção, sendo o tempo até a saturação do adsorvente igual a 23 horas a uma vazão de  $7,2 \text{ mL.min}^{-1}$ , enquanto Veit et al. (2009b) ao estudarem a biossorção do níquel pela alga *Sargassum filipendula* pré-tratada quimicamente verificaram um tempo de saturação

de 20 horas, a uma concentração de  $2,12 \text{ mequiv.L}^{-1}$ , pH 3 e vazão  $6 \text{ mL.min}^{-1}$ .

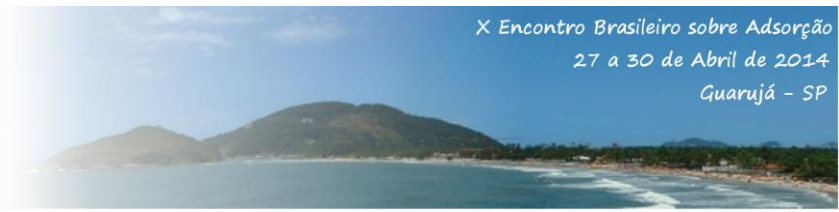
Segundo Borba (2006) a biossorção de metais inicia-se com a difusão do íon metálico até a superfície da célula microbológica. Uma vez que o íon metálico tenha difundido até a superfície da célula, este deverá ligar-se aos sítios sobre a superfície da célula na qual exibem alguma afinidade com o metal. Esta etapa contém um número passivo de etapas de acumulação, podendo incluir: adsorção, troca iônica, ligações covalentes, complexação, quelação e microprecipitação. Estes fenômenos poderiam explicar os resultados observados, onde foi obtida uma solução aquosa sintética do íon cádmio com concentração estável e inferior à concentração de entrada na coluna. Estudos posteriores serão necessários para confirmação desta hipótese.

A quantidade adsorvida de íon cádmio pela *Saccharomyces cerevisiae* no estado inativo imobilizada em quitosana e o percentual de remoção em coluna de leito fixo para as condições operacionais utilizadas, foram obtidos mediante as Equações 1 e 2, respectivamente, sendo estes resultados descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores da quantidade adsorvida de íon cádmio e do percentual de remoção.

$C_0$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Q ( $\text{cm}^3.\text{s}^{-1}$ )	$q_0$ ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	%Rem (%)
40	1,5	2,22	48,71
40	4,5	4,37	29,57
90	1,5	4,25	44,07
90	4,5	9,30	32,19

Diante dos valores da quantidade adsorvida de íon cádmio obtidos, é possível verificar uma maior quantidade adsorvida do íon cádmio por grama de bioadsorvente, para uma maior vazão, comportamento este, também verificado ao aumentar a concentração de entrada da solução aquosa sintética. O aumento da



concentração de entrada da solução metálica proporciona uma maior força impulsora para a transferência de massa, tornando mais rápida a difusão dos íons metálicos até os sítios ativos do bioadsorvente, em relação às concentrações mais baixas. Desta forma, a massa adsorvida do íon metálico por unidade de massa do bioadsorvente, ou seja, a quantidade adsorvida tende ser maior quando comparada nas mesmas condições experimentais. Sabe-se também que o aumento da vazão volumétrica causa uma menor resistência para a difusão dos íons, uma vez que gera uma menor camada de filme externo ao redor das partículas adsorventes, em relação às menores vazões. Desta forma, com uma menor resistência à transferência de massa há uma maior quantidade de íons adsorvidos, nas mesmas condições operacionais.

Quanto ao maior percentual de remoção, verifica-se por meio da Tabela 1 que o maior valor, correspondente a 48,71%, foi obtido para menores valores de vazões e concentração de entrada. Fato este, associado a maior zona de adsorção, que é obtida em vazões de operação mais baixa, já que o fluxo da solução pelo leito é mais lento e permite uma remoção mais eficiente quando comparado ao uso de vazões volumétricas maiores.

## 4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos foi possível verificar que o leito atingiu condições estáveis de concentração na saída. Essa razão foi em torno de 0,8, independentemente da concentração estudada. Pôde-se verificar ainda que, quanto maior a vazão volumétrica de operação, menores foram os tempos de ruptura.

## 5. REFERÊNCIAS

BARROS JUNIOR, L. M. Biossorção de metais pesados presentes em águas de produção de campos de petróleo. *Dissertação de Mestrado*. UFRN, Natal - RN, 2001.

BENGUELLA, B. and BENAÏSSA, H. Effects of competing cations on cadmium biosorption by chitin. *Col. and Surf.*, v. 201, p. 143-150. 2002.

BORBA, C. E.; GUIRARDELLO, R.; SILVA, E. A.; VEIT, M. T.; TAVARES, C. R. G. Removal of nickel(II) ions from aqueous solution by biosorption in a fixed bed column: Experimental and theoretical breakthrough curves. *Bioch. Eng. J.*, v. 30, p. 184-191, 2006.

CANUTO, M. F. C. S.; ARAÚJO, S. W. C.; VALENTIM, D. S. O.; ALSINA, O. L. S.; CONRADO, L. S. O. Modelagem cinética da biossorção do íon cádmio pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* livre e imobilizada. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Vassouras - RJ, 2011. CD Rom.

CANUTO, M. F. C. S.; ARAÚJO, S. W. C.; DUARTE, R. C. O.; ALSINA, O. L. S.; CONRADO, L. S. O. Estudo da biossorção do íon cádmio em coluna de leito fixo utilizando *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em quitosana. Anais do 9º Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Recife - PE, 2012. CD Rom.

CHEN, C.; WANG, J., Response of *Saccharomyces cerevisiae* to lead ion stress, *Applied Microb. and Biot.*, v. 74, n. 3, p. 683-687, 2007.

COSSICH, E. S. Biossorção de cromo(III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum sp.* *Tese de Doutorado*. UNICAMP, Campinas - SP, 2000.

LIMA, L. M. R. Estudo da ampliação de escala na adsorção de contaminantes orgânicos presentes em efluentes aquosos mediante leito fixo de biomassa. *Tese de Doutorado*. UFCG, Campina Grande - PB, 2010.

LIU, C. C.; LI, Y. S.; CHEN, Y. M.; WANG, M. K.; CHIOU, C. S.; YANG, C. Y.; LIN, Y. A. Biosorption of chromium, copper and zinc on

rice wine processing waste sludge in fixed bed.  
*Desal.*, v. 267, p. 20–24, 2011.

OSIFO, P.O.; EVERSON, R.C.; WEBSTER, The adsorption of copper in a packed-bed of chitosan beads: modeling, multiple adsorption and regeneration. *J. of Haz. Mat.*, v. 167, p. 1242-1245, 2009.

TUNALI, S.; KIRAN, I.; AKAR, T. Chromium (VI) biosorption characteristics of *Neurospora crassa* fungal biomass. *Min. Eng.*, v. 18, p. 681-689, 2005

VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; TAVARES, C. R. G.; GONÇALVES, G. C. Efeito da vazão volumétrica nas curvas de ruptura para o sistema de biossorção de Cr(III) e Ni(II). *Est. Tecn.*, v. 5, p. 186-194, 2009a.

VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; TAVARES, C. R. G.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; GONÇALVES, G. C.; SEOLATTO, A. A.; VAZ, L. G. L. Biosorption of nickel(II) ions by using chemically pre-treated *Sargassum filipendula* biomass in a fixed bed column. *World J. Microbiol Biotechnol*, v. 25, p. 1849-1856, 2009b.

## 6. AGRADECIMENTOS